

①

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-116443

(43)Date of publication of application : 02.05.1997

(51)Int.Cl.

H03M 13/00

H04L 1/00

H04L 27/00

(21)Application number : 07-297714

(71)Applicant : J R C TOKKI KK

(22)Date of filing : 20.10.1995

(72)Inventor : SEINO KAZUYA

**(54) METHOD AND CIRCUIT FOR ERROR DETECTION AND CORRECTION IN UNDERWATER DATA TRANSMISSION****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To perform the syndrome exclusive OR operation and the syndrome Hamming weight exclusive OR operation even at the time of erroneous reception of plural data in one transmission message.

SOLUTION: Two 4-word-data blocks obtained by cyclic encoding are taken out, and a two-word primary parity is added to each block, and the primary parity is determined by syndrome operation, and this primary parity is regarded as two-word data, and respective constituting words of data blocks are mixed to generate data blocks each of which consists of 6 words. A two-word secondary parity is added, and the secondary parity is determined by syndrome operation, and a message is modulated as a transmission unit by an ultrasonic wave and is transmitted from a transmitter plural times; and a receiver re-edits each data block constituting the reception message, which is transmitted plural times, at each time of reception and subjects this data block to syndrome operation to detect and correct the error of the reception data block.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 20.10.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2744961

[Date of registration] 13.02.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 水中データ伝送における送信データの誤り検出・訂正方法において、ディジタル化した伝送メッセージを任意の語数毎に分割し、当該構成語をRS符号化した一次データ・ブロックを作成し、該一次データ・ブロックのうち連続する2つの一次データ・ブロックを取り出し、各々に一次パリティ2語を付加し、各々シンドローム演算を実行することにより前記一次パリティ値を決定し、次に、該一次パリティを各々1語のデータとみなして、前記2つの一次データ・ブロックの構成語を混合して2分割することにより、2つの二次データ・ブロックを作成し、各々に二次パリティ2語を付加し、各々シンドローム演算を実行することにより二次パリティ値を決定した当該2つの二次データ・ブロックを送信単位とし、該送信単位毎に超音波で変調して複数回送信機から水中発信し、以後継続して前記分割した信号ブロックを2つづつ取り出し、前記と同様の方法で各々送信単位毎に所要の伝送単位の伝送が終了するまで水中発信し、受信機では、前記複数回受信した二次データ・ブロックを前記伝送単位毎に編集し、該編集したデータを相互比較し、全データが同一のときはそのデータ・ブロックに誤り無しと判定し、異なるときには一次パリティによるエラー・シンドローム演算を実行し、さらに2語以上の誤りがあるときは、二次パリティによるエラー・シンドローム演算を実行し、当該データ・ブロックの構成語の真値を算出して訂正し、以後、順次後続の伝送単位についても同様な方法により実行することを特徴とする水中ディジタル・データ伝送における誤り検出・訂正方法。

【請求項2】 請求項1に記載された誤り検出・訂正方法において、一次パリティが付加された2つのデータ・ブロックの構成語を混合して2分割する手段として、1のデータ・ブロックの構成語の任意の半数と他の1の構成語の任意の半数とを均等に分割した後、さらに前記データ・ブロックの各々に二次パリティを付加することを特徴とする水中ディジタル・データ伝送における誤り検出・訂正方法。

【請求項3】 請求項1又は請求項2に記載された誤り検出・訂正方法において、複数回受信したデータ・ブロックから成る受信メッセージをバッファメモリに各組毎に、行又は列に前記データ・ブロックにおける各ブロックが交互に並ぶようにマトリックス状に配列して格納し、読み出しし、順次後続する伝送単位についても同様な方法により格納及び読み出しを実行することを特徴とする水中ディジタル・データ伝送における誤り検出・訂正方法。

【請求項4】 請求項1、請求項2又は請求項3に記載の誤り検出・訂正方法に係る送信機において、データを格納するメモリAとハミング重さを格納するメモリBと前記データと前記ハミング重みとからシンドローム演算を実行して、一次パリティを決定するRS符号化器Aと、

当該演算により求めた2つのデータ・ブロックを格納するメモリCと、前記2つのデータ・ブロックとメモリDに格納したハミング重みとによりシンドローム演算を実行し二次パリティを決定するRS符号化器Bと、当該演算により求めた2つのデータ・ブロックを格納するメモリEと、これらのデータの動作を制御する制御部とを備えたことを特徴とする送信信号処理回路。

【請求項5】 請求項1、請求項2又は請求項3に記載の誤り検出・訂正方法に係る受信機において、マトリックス状に格納された2つのデータ・ブロックとメモリに格納されているハミング重みとからエラー・シンドローム演算を実行し、伝送単位毎に複数回伝送された前者のメモリのマトリックス配列を比較し、奇数列又は偶数列の各データが同一の場合には、誤り無しとし、異なる場合には後者の一次エラー・シンドローム演算により求めた数値より誤り語の検出又はハミング距離から誤り語に対する真値の算出によって訂正し、さらに不明の場合は二次エラー・シンドローム演算により検出訂正を行う誤り検出部と、これらのデータの動作を制御する制御部とを備えたことを特徴とする受信信号処理回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、海水等を媒体とし、搬送波として超音波を使用した水中ディジタル・データ伝送において、伝送メッセージに巡回符号を用いてエラー・シンドローム演算をすることにより伝送されたメッセージ中の誤りデータを受信機で構成データの比較、一次パリティ及び二次パリティによるエラー・シンドローム演算によって検出し訂正する方法及びその回路に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 水中に設置したデータ送信機に装備されたセンサ等から得た水中の環境状況、例えば、水温、水圧、潮流等のアナログ情報を超音波により海上へ伝達するには、一般的に、ディジタル・データ伝送により行われている。このディジタル・データ伝送は、上記のアナログ情報をディジタル・データに変換し、超音波の周波数を変位変調する方法(FSK)又は位相を変位変調する方法(PSK)により水中の送信機から海上に設置された受信機に向けてデータを発信するディジタル・データ伝送方法である。

【0003】 しかし、送信されるデータは、送信時には正しいものであっても、伝搬中における水中の環境、例えば、雑音や水温の変化等の外乱により、又は受信機において、機械的、人為的な要因で、受信した信号に誤りが発生する場合がある。

【0004】 このような場合には、送信時の真のデータと受信データとが一致せず、水中の情報が正確に受信機へ伝達できない問題が生ずる。

【0005】 この問題を解決する方法として、受信デー

タの誤りを自動的に検出し、訂正する方法が考えられ、最近では、CIRC (Cross Interleaved Reed Solomon Code) を利用した方法が用いられている。

【0006】以下、このCIRCを利用したデータ伝送の誤り検出及び訂正方法について説明する。

【0007】この受信データの誤り検出・訂正方法は、巡回符号として後述するガロア有限体GF(2<sup>n</sup>) (2進数nビット) で表現されるRS符号 (Reed Solomon Code) を用いたもので、数個の語 (データ) から成るデータ・ブロック中に1語のみ誤りデータがある場合に、その誤りデータを検出し訂正する方法である。

【0008】まず、送信機において、所定の伝送メッセージを伝送効率のよい長さ、即ち、数個の語から成るデータ・ブロック単位に分割し、その伝送データ・メッセージを構成する最小単位を1語 (データ) として構成し、その1語は2進数nビットで構成する。この1伝送データ・ブロックに対し、自己検査符号として、2語のパリティを付加し、この1伝送メッセージの総合排他論理和演算 (XOR) が0となるようにパリティの値を決定する。このパリティをデータに加味して新たなデータ・ブロックが構成される。なお、後述するがこの演算方法は一般に「シンドローム演算」と呼ばれている。

【0009】この新たな1データ・ブロックから成る構成語は、ガロア有限体GF(2<sup>n</sup>) (2進数nビット) で表し、最終的にこの1伝送メッセージを伝送単位として水中の送信機から発信される。

【0010】受信機では、この受信データ・ブロックについて、送信の場合と同様な排他論理和演算 (XOR) を実行し、その結果から誤りビットを検出し、真の送信\*

$$\begin{aligned} P(\alpha)/G(\alpha) &= \alpha^7 / (\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1) \\ &= (\alpha^4 + \alpha^3 + 1) (\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1) + (\alpha^2 + \alpha + 1) \\ &= (\alpha^2 + \alpha + 1) \\ \alpha^7 &= \alpha^2 + \alpha + 1 \end{aligned}$$

今、 $\alpha = 2$  すなわち (0010) を原始元 (基準値) とすれば、 $\alpha^7$  は次のようにガロア有限体GF(2<sup>2</sup>) で表すことができる。

$$\text{【0018】 } \alpha^7 = 7 \text{ (0111)} = \alpha^2 + \alpha + 1$$

このように、Xを2 (0010) とする原始元として定義すれば、ガロア有限体GF(2<sup>4</sup>) のすべての値は、

\*データを得ようとするものである。ここで用いられる排他論理和演算 (XOR) は後述するが一般に「エラー・シンドローム演算」と呼ばれているものである。

【0011】以下、シンドローム演算及びエラー・シンドローム演算方法について具体的なモデルによる数値例により説明する。

【0012】ただし、一般的に伝送データは、2進数8ビット又は16ビット、すなわち、GF(2<sup>8</sup>) 又はGF(2<sup>16</sup>) 等で演算処理が行われるが、説明を簡易にするため、伝送データを2進数4ビットGF(2<sup>4</sup>) によって表現した例によって説明する。

【0013】ここで、送信又は受信においてデータ値を表す個々のビットには、加入又は脱落の発生がなく、演算及びデータ処理は正確に同期がとれているものとして説明する。

【0014】また、数式の演算において「+」記号は、各ビットのモジュロ2演算、即ち、排他論理和演算 (XOR) を示している。

【0015】上記のCIRCにおけるRS符号では、ある任意の多項式に対して、次の既約多項式G(x)を定義している。

$$\text{【0016】 } G(x) = x^4 + x^3 + 1$$

ここで、G(x) = 0とする代数方程式の根を $\alpha$ とすると、G( $\alpha$ )は、  
G( $\alpha$ ) =  $\alpha^4 + \alpha^3 + 1$   
として表される。

【0017】ある多項式P( $\alpha$ )が既約多項式G( $\alpha$ )で割り切れるとすれば0、割り切れないとすれば、余剰の多項式となる。例えば、P( $\alpha$ ) =  $\alpha^7$  の場合、

GF(2<sup>4</sup>) (2進数4ビット) で表示され、表1に示すべき乗数及び多項式表現によって表すことができる。これらによって表された、表1に記載した符号がRS符号である。

【0019】

【表1】

RS符号(その1)

16進数 表 現	元 GF(2 <sup>4</sup> )	べき乗数	多項式表現
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	X	X
3	0011	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>
4	0100	X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>
5	0101	X <sup>4</sup>	X <sup>3</sup> + 1
6	0110	X <sup>5</sup>	X <sup>3</sup> + X + 1
7	0111	X <sup>6</sup>	X <sup>3</sup> + X <sup>2</sup> + X + 1
8	1000	X <sup>7</sup>	X <sup>2</sup> + X + 1
9	1001	X <sup>8</sup>	X <sup>3</sup> + X <sup>2</sup> + X
10	1010	X <sup>9</sup>	X <sup>2</sup> + 1
11	1011	X <sup>10</sup>	X <sup>3</sup> + X
12	1100	X <sup>11</sup>	X <sup>3</sup> + X <sup>2</sup> + 1
13	1101	X <sup>12</sup>	X + 1
14	1110	X <sup>13</sup>	X <sup>2</sup> + X
15	1111	X <sup>14</sup>	X <sup>3</sup> + X <sup>2</sup>

表1「RS符号(その1)」を使用した誤り検出及び訂正方法を具体的に例を挙げて説明する。

【0020】今、表1「RS符号(その1)」により、伝送データを

A; 1 (0001),

B; X<sup>14</sup> (1111),

C; X<sup>6</sup> (0111),

D; 0 (0000)

の4語を送信する場合、2語の未知パリティP及びQをこの4語に付加し、次の2つの排他論理和(XOR)伝送代数方程式及びハミング重乗算(HW-XOR)の伝送代数方程式を作成し、PとQを未知数とする連立方程式を解く。

【0021】なお、この連立方程式の解法が送信時のパリティを決定する場合に「シンドローム演算」といい、受信時のデータ誤り情報を得る場合に「エラー・シンドローム演算」という。

【0022】

【数1】

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ P \\ Q \end{bmatrix}$$

上記式1から

【数2】

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{13} & X^6 & X^7 & X^{12} \\ X^7 & X^6 & X^{13} & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix}$$

式2が成立し、

【数3】

$$\begin{aligned} P &= X^{13} \times 1 + X^6 \times X^{14} + X^7 \times X^6 + X^{12} \times 0 \\ &= X^{13} + X^{20} + X^{13} = X^{20} \\ &= X^6 (0110) \end{aligned}$$

## 【数4】

$$\begin{aligned} Q &= X^7 \times 1 + X^6 \times X^{14} + X^{13} \times X^6 + X \times 0 \\ &= X^7 + X^{20} + X^{19} = X^7 + X^7 + X^4 \\ &= X^4 (0101) \end{aligned}$$

式3及び式4が導かれる。以上の計算からP及びQが決定され、最終的な伝送メッセージは、次のデータ・ブロックとなり、以下の順序で送信データとして送信機から発信される。

## 【0023】

$$\begin{aligned} A &= 1 \quad (0001), \\ B &= X^{14} \quad (1111), \\ C &= X^6 \quad (0111), \\ D &= 0 \quad (0000), \\ P &= X^5 \quad (0110), \\ Q &= X^4 \quad (0101) \end{aligned}$$

この送信データに対して、受信機では、以下のようにデータa, b, ……qを受信し、下線で示すcデータに誤りがあったと仮定する。しかし、この時点では、受信データに誤りが有るか否かは不明である。

## 【0024】

$$\begin{aligned} a &= 1 \quad (0001), \\ b &= X^{14} \quad (1111), \\ \underline{c} &= 0 \quad (0000), \\ d &= 0 \quad (0000), \\ p &= X^5 \quad (0110), \\ q &= X^4 \quad (0101) \end{aligned}$$

受信機では、送信データに対応して、以下の式5のような排他論理和(XOR)S1及びハミング重さ排他論理和演算(HW-XOR)S2を実行する。

## 【0025】

## 【数5】

$$\begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^6 & X^4 & X^3 & X^2 & X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ p \\ q \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} S1 &= (A+Ea) + (B+Eb) + (C+Ec) + (D+Ed) \\ &\quad + (P+Ep) + (Q+Eq) \\ &= (A+B+C+D+P+Q) + (Ea+Eb+Ec+Ed+Ep+Eq) \\ &= Ea+Eb+Ec+Ed+Ep+Eq \end{aligned}$$

## 【数7】

$$\begin{aligned} S2 &= X^6(A+Ea) + X^4(B+Eb) + X^3(C+Ec) + X^2(D+Ed) \\ &\quad + X(P+Ep) + (Q+Eq) \\ &= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq \end{aligned}$$

ここで、S1とS2の結果から「誤りが1データでのみである。」と仮定すれば、次の(1)から(7)までの結果が得られる。即ち、

(1) S2=S1=0であれば、受信データに誤りが

$$\text{*式5より、} S1 = 1 + X^{14} + 0 + 0 + X^5 + X^4$$

$$= X^6$$

$$S2 = X^6 \cdot 1 + X^4 \cdot X^{14} + X^3 \cdot 0 + X^2 \cdot 0 + X \cdot X^5 + X^4$$

$$= X^2 + 1$$

$$= X^9$$

従って、 $S2/S1 = X^9/X^6 = X^3$ を得る。

【0026】これは、後述するように、誤りデータがなければ $S2/S1$ は0であるが、 $S2/S1 = X^3$ から受信データの中のcデータに誤りがあり、誤っているcデータに対する真のCデータからの変位量、即ち、ハミング距離は $S1 = X^6$ から6ビットであることが認められる。よって、cの真値Cは次のようにして求めることができる。

## 【0027】

$$C = c + X^6$$

$$= 0 + (0111)$$

$$= X^6 (0111)$$

以上のように、受信データのエラー・シンドローム演算の結果から誤りデータ及び送信の真値データを判定することができるのは、次の論理に基づくものである。即ち、パリティを含む受信データa, b, c, d, p及びqのそれぞれの誤りをそれぞれEa, Eb, Ec, Ed, Ep及びEqと仮定すれば、送信データとの間には次の関係がある。

## 【0028】

$$a = A + Ea$$

$$b = B + Eb$$

$$c = C + Ec$$

$$d = D + Ed$$

$$p = P + Ep$$

$$q = Q + Eq$$

従って、シンドローム演算は次の式6及び式7となる。

## 【0029】

## 【数6】

$$S1 = (A+Ea) + (B+Eb) + (C+Ec) + (D+Ed) + (P+Ep) + (Q+Eq)$$

$$= (A+B+C+D+P+Q) + (Ea+Eb+Ec+Ed+Ep+Eq)$$

$$= Ea+Eb+Ec+Ed+Ep+Eq$$

$$S2 = X^6(A+Ea) + X^4(B+Eb) + X^3(C+Ec) + X^2(D+Ed) + X(P+Ep) + (Q+Eq)$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

$$= X^6 \times Ea + X^4 \times Eb + X^3 \times Ec + X^2 \times Ed + X \times Ep + Eq$$

ータbに誤りがある。

【0032】(4)  $S2 = X^3$  S1であれば、受信データcに誤りがある。

【0033】(5)  $S2 = X^2$  S1であれば、受信データdに誤りがある。

【0034】(6)  $S2 = X^1$  S1であれば、受信パリティpに誤りがある。

【0035】(7)  $S2 = X^0$  S1=1 S1であれば、受信パリティqに誤りがある。

【0036】以上の説明を要約すれば次のことがいえる。

【0037】受信データに誤りがないならば、排他論理和S1及びハミング重さ排他論理和S2は共に0である。

【0038】もし、受信データに誤りがあれば、S1及びS2は、 $X^n$ 及び $X^m$ となる。

【0039】よって、 $S2/S1 = X^n/X^m = X^{n-m}$ の指数(n-m)は、構成データM(A, B, C……)の誤りデータが伝送順序の逆順番の位置にあることを示している。

【0040】次に、 $S1 = Em = X^m$ で表せるから、 $X^m$ は誤り受信データのハミング距離を示している。従って、誤りデータの真値は次式で得られる。

【0041】

$M(A, B, C, \dots) = m(a, b, c, \dots) + S1$   
よって、前述した具体例の誤りデータの判定は次のとおりとなる。

【0042】 $S2/S1 = X^9/X^6 = X^3$  ……Cに誤りがある。

【0043】 $S1 = Ec = X^6$  ……ハミング距離(誤値からの変位量)

$C = c + Ec$

$= c + S1$

$= 0(0000) + X^6(0111)$

以上のように、従来のCIRCによればRS符号を用いて、送信すべきデータにパリティを2語付加し、エラー・シンドローム演算により、受信データの誤りを検出し訂正を行うことができる。

【0044】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のRS符号による誤り検出及び訂正方法は、1データ・ブロックに、1データのみ誤りがあるという前提で成立するものであるが、現実においては、1伝送メッセージ中に複数のデータが誤って受信される場合も発生する。その場合には、シンドローム排他論理和演算(XOR)及びシンドローム・ハミング重さ排他論理和演算(HW-XOR)の連立方程式が成立せずエラー・シンドローム演算をすることができない。そのため、どの語に誤りが生じているのか等を判定することは困難であった。従って、誤りの有無については、受信機で経験則等により

受信したデータに誤りがあるか否かを有る程度判断し、誤りを発見した場合には送信機に再度同じデータを送信要求する等により対応していた。

【0045】なお、深海での海洋資源、地殻変動などが立ち入ることが困難な海域での無人自動計測やロボット計測によるデータ伝送では、受信機の再確認又は再送信の要求に観測側が臨機応変に対応できないのが一般である。

【0046】このような自然の海水等を伝送媒体とする不安定な水中超音波データ伝送においては、いかに短時間に多くのデータを送信するかという伝送効率よりも伝送データの確実性及び信頼性が要求される。

【0047】一般的には送受信の信頼性の向上を図るほど伝送効率(単位時間内に送受信可能なデータ数)が低下する傾向があるが、水中データ超音波伝送における特性として、環境外乱や雑音の影響を受けやすく、空中における電磁波伝送及び有線伝送に比較し信号伝搬速度が極端に遅いため(水中超音波速度1500m/s、空中電磁波速度 $3 \times 10^8$ m/s)、訂正、確認、問い合わせ再送信をした場合には時間がかかる問題点がある。従って、1回の送受信で訂正等の生じない確実な信頼性のある伝送方法が要求される。

【0048】本発明は、1伝送ブロックにバースト誤り(複数データが連続又は継続して誤り発生)等の誤りがあっても、その誤りを検出し訂正をすることができる方法及び回路を提供することを目的とする。

【0049】

【課題を解決するための手段】本発明は上記問題点を解決するためになされたもので、従来の伝送データの誤り信号の検出、訂正方法として用いられているRS符号によるパリティのエラー・シンドローム演算式を利用し1伝送メッセージ中に複数の誤りが生じていてもその検出・訂正ができるようにしたものである。

【0050】具体的には、まず、従来と同様に巡回符号によるデジタル信号に符号化した4語で構成するデータ・ブロックを2個取り出し、それぞれに一次パリティ2語を付加し、各データ・ブロックのシンドローム演算がそれぞれゼロとなるようにこの一次パリティを決定する。

【0051】次に、この一次パリティをそれぞれ2語のデータとみなし、データ・ブロックの各構成語を混合して新たにそれぞれ6語で構成するデータ・ブロックを作成し、これらの各データ・ブロックにさらに二次パリティ2語を付加して各データ・ブロックのシンドローム演算の結果がゼロとなるようにこの二次パリティを決定する。この2個のデータ・ブロックで構成するメッセージを伝送単位として、超音波で変調して該メッセージを複数回繰り返し送信機からデジタル・データとして水中発信する。

【0052】受信機では、複数回受信した受信メッセー

ジを構成するデータ・ブロックごと及び各回ごとに再編集し、各回毎の該データ・ブロックについてエラー・シンドローム演算を実行し、受信したデータ・ブロックの各構成語及び各パリティに誤りがあるか否かを検出し、誤りが認められた場合にはその語の真値を算出して訂正するようにしたものである。

#### 【0053】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る水中データ伝送における誤り検出・訂正方法及び回路の実施の形態について以下に詳細に説明する。

【0054】なお、本発明の一形態では理解を容易にするためガロア有限体GF(2<sup>4</sup>)で表す4データを1ブロックとする伝送方法を例にとって説明する。

【0055】伝送メッセージは、以下のように構成する。まず、従来と同様に伝送データを信号ブロックに分割し、分割された1ブロックを巡回符号によるデジタル信号に符号化した4語で構成するデータ・ブロックΛとし、このデータ・ブロックΛ1及びΛ2の2ブロックを取り出し、それぞれに一次パリティ2語を付加したデータ・ブロックΣ1及びΣ2のシンドローム演算がそれぞれゼロとなるようにこの一次パリティを決定する。

【0056】次に、この一次パリティをそれぞれ2語のデータとみなして、データ・ブロックΣ1及びΣ2の各構成語を混合して2分割し、新たにそれぞれ6語で構成するデータ・ブロックを作成し、さらに、そのデータ・ブロックのそれぞれに、二次パリティ2語を加えて各データ・ブロックをΠ1及びΠ2のシンドローム演算がゼロとなるように二次パリティを決定し、このΠ1及びΠ2をΠ12として1伝送単位とする。

【0057】従って、この場合1伝送単位のデータ・ブロックは8語のデータと4語のパリティから構成されることになる。

【0058】この1伝送単位を、超音波で変調して4回繰り返し送波器からデジタル・データとして水中発信する。

【0059】受信機では、4回受信した受信メッセージをデータ・ブロックΠ12として各繰り返し回ごとに再編集し、各回ごとのこのデータ・ブロックΠ12についてエラー・シンドローム演算を実行し、データ・ブロックΠ12の各構成語及び各パリティに誤りがあるか否かを検出し、誤りがある場合にはデータの真値を算出して訂正するようにしたことを特徴とするものである。

【0060】本発明の一形態では、受信データはエラー・シンドローム演算による誤り検出が容易なように、8列8行マトリックスのメモリに後述する所定の配列に従って記憶させる。

【0061】これは、バースト誤りが発生しても正確に誤りを検出するために、連続受信データが1組のデータ・ブロックに集中させないで、受信回数の異なるデータが相互に組み合わせられるように、受信時間が近接したデ

ータの分散を図り、同一種のデータの相互比較を容易にするためにするものである。

【0062】伝送データはパリティを含めて16語から構成される2組の送信メッセージであり、組立て語順にしたがって4回繰り返し送っているため、受信機では、受信データをデータの組み立て順序に従って、8列8行のマトリックス・メモリに8語ごとに同一列に並べて記憶させれば、奇数列と偶数列語とに共通データが交互に同一行に並ぶこととなる。

【0063】もし、ここで誤りデータが存在しないとすれば、偶数列及び奇数列ごとに同じデータ値で埋まることとなる。

【0064】エラー・シンドローム演算のため、データ・ブロックを構成するデータ選定として、1列おき毎の行に並ぶ同種のデータ値が等しければその中のいずれのデータを取り出し、違っていれば同じ行で、同じ値を示す多数の方のデータを取り出し、エラー・シンドローム演算が0となるようなデータを選び出す。

【0065】もし、シンドローム演算の0値が存在しない場合は、従来技術で説明したように1語誤りとして、エラー・シンドローム演算により誤り語及びハミング距離から真値を算定する。その演算結果で、該当する誤り語を訂正し、再度シンドローム演算を行い0値を確認する。

#### 【0066】

##### 【表4】

6 データ真値判定評価表

パリティ評価値 EQ <sub>i</sub> /ES <sub>i</sub>	データ真値
X <sup>6</sup>	A <sub>i</sub> =a <sub>i</sub> +EQ <sub>i</sub> E <sub>i</sub> =e <sub>i</sub> +E <sub>r</sub> <sub>i</sub>
X <sup>4</sup>	B <sub>i</sub> =b <sub>i</sub> +EQ <sub>i</sub> F <sub>i</sub> =f <sub>i</sub> +E <sub>r</sub> <sub>i</sub>
X <sup>2</sup>	C <sub>i</sub> =c <sub>i</sub> +EQ <sub>i</sub> G <sub>i</sub> =g <sub>i</sub> +E <sub>r</sub> <sub>i</sub>
X	D <sub>i</sub> =d <sub>i</sub> +EQ <sub>i</sub> H <sub>i</sub> =h <sub>i</sub> +E <sub>r</sub> <sub>i</sub>
1	P <sub>i</sub> =p <sub>i</sub> +EQ <sub>i</sub> R <sub>i</sub> =r <sub>i</sub> +E <sub>r</sub> <sub>i</sub>
	Q <sub>i</sub> =q <sub>i</sub> +EQ <sub>i</sub> S <sub>i</sub> =s <sub>i</sub> +E <sub>r</sub> <sub>i</sub>

(注) 添付記号 i はデータ・ブロックの番号

表4に示すように、S<sub>2</sub>/S<sub>1</sub>が一次パリティでX<sup>6</sup>以上(二次パリティの時はX<sup>4</sup>以上)の場合は、誤りデータ2語以上で検出不能と判断する。誤り検出不能が発生した場合は二次パリティによるエラー・シンドローム演算を実行する。

【0067】以上の操作によって、データの真値が得られない場合は、全てのデータ組合わせによって、一次及び二次パリティについてエラー・シンドローム演算を実



13

行し、表5によって判定する。

【0068】

【表5】

8データ真値判定評価表

パリティ評価値 EUI/EWI	データ真値
$X^7$	$A_i = a_i + E_{t1}$ $E_i = e_i + E_{v1}$
$X^6$	$F_i = f_i + E_{t1}$ $B_i = b_i + E_{v1}$
$X^5$	$C_i = c_i + E_{t1}$ $G_i = g_i + E_{v1}$
$X^4$	$H_i = h_i + E_{t1}$ $D_i = d_i + E_{v1}$
$X^3$	$P_i = p_i + E_{t1}$ $R_i = r_i + E_{v1}$
$X^2$	$S_i = s_i + E_{t1}$ $Q_i = q_i + E_{v1}$
$X$	$V_i = v_i + E_{t1}$ $T_i = t_i + E_{v1}$
1	$W_i = w_i + E_{t1}$ $U_i = u_i + E_{v1}$

(注) 添付記号 1 はデータ・ブロックの番号

1 伝送単位の中に2データ以上の誤り、かつ、バースト誤りであっても、誤りデータの位置及び真の送信データの検出・訂正を可能とするものである。

【0069】具体的な例により、本発明の一形態の演算方法について説明する。

【0070】先に説明したGF(2<sup>4</sup>)について表1「RS符号表(その1)」を表2「RS符号表(その2)」に示すように、べき乗数に合致させるように改善したものである。

【0071】

【表1】

【表2】

14

RS符号表(その2)

16進数 表 現	元 GF(2 <sup>4</sup> )	べき乗数	多項式表現
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	X	X
3	0100	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>
4	1000	X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>
5	1001	X <sup>4</sup>	X <sup>3</sup> + 1
6	1011	X <sup>5</sup>	X <sup>3</sup> + X + 1
7	1111	X <sup>6</sup>	X <sup>3</sup> + X <sup>2</sup> + X + 1
8	0111	X <sup>7</sup>	X <sup>2</sup> + X + 1
9	1110	X <sup>8</sup>	X <sup>2</sup> + X <sup>2</sup> + X
10	0101	X <sup>9</sup>	X <sup>2</sup> + 1
11	1010	X <sup>10</sup>	X <sup>2</sup> + X
12	1101	X <sup>11</sup>	X <sup>2</sup> + X <sup>2</sup> + 1
13	0011	X <sup>12</sup>	X + 1
14	0110	X <sup>13</sup>	X <sup>2</sup> + X
15	1100	X <sup>14</sup>	X <sup>2</sup> + X <sup>2</sup>

表2「RS符号表(その2)」は、従来の表1「RS符号表(その1)」に示すGF(2<sup>4</sup>)について、演算を容易にするため多項式表示のGF(2<sup>4</sup>) (元)とビット位置とが一致するように作成したものであり、以後の説明には、表2「RS符号表(その2)」を用いて説明する。

【0072】また、既約多項式は、従来技術に述べたものと同じく次式とする。

【0073】 $G(X) = X^4 + X^3 + 1$ 誤りを検出するため、送信すべきデータ・ブロックを2組設け、そのうちの1つをA1(A, B, C, D)とする伝送データ・ブロック、他の1つをA2(E, F, G, H)とする伝送データ・ブロックとする。

【0074】マトリックス演算式8及び式9に示すように、前者に未知の一次パリティP, Qを加えたΣ1

(A, B, C, D, P, Q)とする6語のデータ群からなる排他論理和(XOR)と、これにハミング重みを付加した排他論理和(XOR)の代数方程式をそれぞれ0とする2種のシンδροーム演算式の連立方程式を解き、一次パリティP, Qの値を決定する。

【0075】同様に、後者のデータ群に未知の一次パリティR, Sを加えたΣ2(E, F, G, H, R, S)とするデータ群から同様な演算で一次パリティR, Sをそれぞれ決定する。

【0076】その結果で得たP, Q, R, Sの4語の一次パリティとA, B, C, D, E, F, G, Hの8語のデータを混成し、マトリックス演算式10及び式11に

15

示すように、それを2分割した語群 (E, B, G, D, R, Q) 及び (A, F, C, H, P, S) にそれぞれ未知の二次パリティ T, U 及び V, W を加味した各8語  $\Pi 1$

(E, B, G, D, R, Q, T, U) 及び  $\Pi 2$  (A, F, C, H, P, S, V, W) のデータ・ブロックの排他論理和とそれにハミング重みを付加した排他論理和 \*

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ P \\ Q \\ E \\ F \\ G \\ H \\ R \\ S \end{bmatrix}$$

以上の関係式からそれぞれ連立方程式を解けば、一次パリティが次の式9のとおり決定される。

【0078】

【数9】

$$\begin{bmatrix} P & R \\ Q & S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{13} & X^6 & X^7 & X^{12} \\ X^7 & X^6 & X^{13} & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \end{bmatrix} \quad 20$$

\* (HW-XOR) をそれぞれ0とする2種のシンドローム演算式から、連立方程式を解き、二次パリティ T, U 及び V, W を決定する。以上の演算プロセスを以下のマトリックス演算式8で示す。

【0077】

【数8】

※同様に、一次パリティ P, Q 及び R, S をそれぞれデータ1語として混成信号群から

【数10】

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ X^7 & X^6 & X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ B \\ G \\ D \\ R \\ Q \\ T \\ U \\ A \\ F \\ C \\ H \\ P \\ S \\ V \\ W \end{bmatrix}$$

式10が成立し、以上の関係式からそれぞれ連立方程式を解けば、二次パリティが次式11のとおり決定される。

★【0079】

【数11】

$$\begin{bmatrix} T & V \\ U & W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X^{11} & X^{13} & X^6 & X^7 & X^{12} \\ X^{12} & X^{14} & X^7 & X^6 & X^{13} & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ B \\ G \\ D \\ R \\ Q \\ A \\ F \\ C \\ H \\ P \\ S \end{bmatrix}$$

以上の演算結果から得た8語のデータと8語のパリティから成る16語をGF(2<sup>4</sup>)で表現し1単位の伝送メッセージとして、次の送信順序(左のVからスタートし右のQへ)で4回繰り返して伝送する。

【0080】 $\Pi 12 = (V, U, A, F, C, H, P, S, T, W, E, B, G, D, R, Q)$

以下、本発明の実施の形態に係る送信機における信号処理について詳細に説明する。ここで、図1は、本発明の

実施の形態に係る送信機における信号処理部の構成を示す概要図である。

【0081】図1に示すように、制御部30は、この制御部30から発信するクロック信号で同期信号及び制御命令を発し、装置の各構成部分の同期及び動作を制御するものである。

【0082】センサ10は、海中の環境情報に関する物理量をアナログ値で計測するもので、A/D変換20に

よりデジタル・データ量、即ち、データA1 (A、B、C、D) 及びA2 (E、F、G、H) をGF

( $2^4$ ) の2進数4ビットの形式で読み取り、メモリA41に記憶させる。

【0083】メモリB42には、式9で分かるように、一次パリティP、Q、R及びSの算定に必要なハミング重さ( $X^1$ 、 $X^6$ 、 $X^7$ 、 $X^{12}$ ) 及び( $X^3$ 、 $X^8$ 、 $X^{13}$ 、 $X$ ) が記憶されている。

【0084】次の命令で、先頭データAはバッファ・レジスタA43を経由してRS符号化器A50へ伝達される。同様に、先頭のハミング重さ $X^{13}$ はバッファ・レジスタB44を経由してRS符号化器A50へ伝達される。バッファ・レジスタA43及びB44は、当該メモリにデータの出入が発生しても当該メモリの内部変動を抑圧緩衝のために挿入したものである。

【0085】RS符号化器A50の構成は、図2に示すように、式9の演算式を実行し、パリティP、Q及びR、Sを算出する機能を備えている。

【0086】図2は、図1のRS符号化器Aのブロック図であり、一次パリティ算定のために使用される排他論理回路(XOR)及びハミングを付加するための排他論理回路(HW-XOR)の実行、即ち、シンドローム演算を実行するための構成を示している。

【0087】図2のRS符号化器50は、乗算器51、排他論理和回路(XOR)52及びラッチ回路(前回データ演算結果と新規データ入力演算結果の加算保持回路)53から構成され、制御部30からの制御命令で動作する。

【0088】乗算器51に前段の先頭データA及びハミング重さ $X^{13}$ がバッファ・レジスタA43及びB44から伝達されると「 $X^{13} \times A$ 」を行い、結果をラッチ回路53に送る。ラッチ回路53にはまだデータが無いため、0であるから「 $X^{13} \times A + 0$ 」の排他論理和を実行した結果、「 $X^{13} \times A$ 」がラッチされて残存する。

【0089】次の指令で入力するデータにより「 $X^6 \times B$ 」が乗算器51で実施され、ラッチ回路53で「 $X^6 \times B + X^{13} \times A$ 」が算出され、その結果が残る。これをA〜D及びE〜Hまで実行し、パリティP、Q及びR、Sの演算結果を出力し、メモリC60へ送られストアされる。

【0090】次に、二次パリティT、U及びV、Wを演算するために、メモリD62にはこれらパリティのハミング重さ( $X$ 、 $X^{11}$ 、 $X^{13}$ 、 $X^6$ 、 $X^7$ 、 $X^{12}$ ) 及び( $X^{12}$ 、 $X^{14}$ 、 $X^7$ 、 $X^8$ 、 $X^{13}$ 、 $X$ ) が事前に記憶されている。よって、RS符号化器B70には制御部30からの指令で、バッファ・レジスタA43からデータ(E、B、G、D)が、バッファ・レジスタC61からパリティ(R、Q)が、バッファ・レジスタD63からこれらに同期して二次パリティのハミング重さ( $X$ 、 $X^{11}$ 、 $X^{13}$ 、 $X^6$ 、 $X^7$ 、 $X^{12}$ ) が読み出されてくる。

【0091】続いて、同様にデータ(A、F、C、H)と一次パリティ(P、S)が、また、これに同期して、パリティのハミング重さ( $X^{12}$ 、 $X^{14}$ 、 $X^7$ 、 $X^8$ 、 $X^{13}$ 、 $X$ ) が読み出されてくる。

【0092】図3は、図1のRS符号化器Bのブロック図であり、二次パリティ算定のために一次パリティをも加味した排他論理演算(XOR)及びハミング付加排他論理演算(HW-XOR)を実行するための構成を示したものである。

【0093】図3に示すRS符号化器B70の構成は、RS符号化器A50の乗算器51の入力位置にゲート回路71を設けた他は全く同様である。ゲート回路71はバッファ・レジスタA43からデータを、同時に、バッファ・レジスタC61から一次パリティ(P、Q)の両者を同時刻に取り込むため、取り込み順序が前後したり、微小時間差があっても、同期を設定するために設けたものである。RS符号化器B70は、式11のマトリックス演算式を実行し、二次パリティT、U、V及びWを算出する。

【0094】よって、各メモリに記憶されている8語のデータ(メモリA)、4語の一次パリティ(メモリC)及び4語の二次パリティ(メモリD)は、伝送メモリ(メモリE)に集められ、次のVからスタートしてQまでの伝送順序で伝送メッセージが作成される。

【0095】 $\Pi 12 \{V, U, A, F, C, H, P, S, T, W, E, B, G, D, R, Q\}$  繰り返し伝送回数は、重複伝送による伝送データの冗長性及び信頼性を上げると共に、バースト誤りに対処するためであるが、反面、伝送効率が低下するので、空中の有線及び無線伝送などには難点があるが、水中伝送では媒体による信号伝搬速度が遅く、信号が環境外乱の影響を受け易いことで、伝送速度よりもメッセージ内容の確実性が要求される場合には極めて有効である。

【0096】上記の伝送データはメッセージの態様によって、伝送内容の余裕時間、データの信頼性、忠実性及び重要性の要求度から、また、データ内容の質、伝送媒体の特性、伝送の手段環境状況などから決定されるものである。

【0097】以上の伝送データの作成を具体例で数値モデルをもって説明する。

【0098】所定の伝送データがセンサ10で感知されA/D変換器20で次のようなGF( $2^4$ )の様式のデジタル・データに変換され、メモリA41に記憶されたとする。

【0099】

第1データブロック(A1)

A=1 (0001)

B= $X^6$  (1111)

C= $X^7$  (0111)

50 D=0 (0000)

第2データブロック (A2)

$E = X^9$  (0101)

$F = X^{12}$  (0011)

$G = 1$  (0001)

$H = X^3$  (1000)

メモリB42には、ハミング重さが次の順序で既にロードされている。

【0100】

Pのハミング重さ

$X^{13}$  (0110)

$X^6$  (1111)

$X^7$  (1111)

\*  $X^{12}$  (0011)

Qのハミング重さ

$X^7$  (0111)

$X^8$  (1110)

$X^{13}$  (0110)

$X^1$  (0010)

これらは、制御指令でバッファ・レジスタA43及びB44を経由し、RS符号化器A50へ伝達され、次の一次パリティを算出する演算(表2を参照)が実行される。その結果はメモリC60にロードされる。

【0101】

\*

$$P = X^{13} \times 1 + X^6 \times X^6 + X^7 \times X^7 + X^{12} \times 0 = X^3 + 1$$

$$= X^4$$
 (1001)

$$Q = X^7 \times 1 + X^8 \times X^6 + X^{13} \times X^7 + X \times 0 = X^7 + X^{14} + X^5$$

$$= 0$$
 (0000)

$$R = X^{13} \times X^9 + X^6 \times X^{12} + X^7 \times 1 + X^{12} \times X^3 = X^3 + 1$$

$$= X^4$$
 (1001)

$$S = X^7 \times X^9 + X^8 \times X^{12} + X^{13} \times 1 + X \times X^3 = X^2 + 1$$

$$= X^{13}$$
 (0110)

次に、RS符号化器B70において、二次パリティの算出演算を実行し、その結果はメモリE75にロードされる。即ち、メモリA41からバッファ・レジスタA42を経由して、混成データE、B、G、Dが、これに同期※

※して一次パリティR、QがメモリC60から読み出され、次式の二次パリティT及びUを算出(表2を参照)し、メモリE75に記憶させる。

【0102】

$$T = X^1 \times X^9 + X^{11} \times X^6 + X^{13} \times 1 + X^6 \times 0 + X^7 \times X^4 + X^{12} \times 0$$

$$= X^9$$
 (0101)

$$U = X^{12} \times X^9 + X^{14} \times X^6 + X^7 \times 1 + X^8 \times 0 + X^{13} \times X^4 + X^1 \times 0$$

$$= X^7$$
 (0111)

次の指令で、同様に、混成データA、F、C、Hが、こ

★る。

れに同期して一次パリティP及びSが読み出され、二次

30 【0103】

パリティV及びWを算出し、メモリE75に記憶させ

★

$$V = X^1 \times 1 + X^{11} \times X^{12} + X^{13} \times X^7 + X^6 \times X^3 + X^7 \times X^4 + X^{12} \times X^{13}$$

$$= X^9$$
 (0101)

$$W = X^{12} \times 1 + X^{14} \times X^{12} + X^7 \times X^7 + X^8 \times X^3 + X^{13} \times X^4 + X^1 \times X^{13}$$

$$= X^7$$
 (0111)

よって、1単位の伝送単位データ・ブロックΠ12とし

て、次の順序でデータ8語、パリティ8語をGF

(2<sup>4</sup>)形式のデジタル・データ群として上から順番に伝送する。

【0104】

$V = X^9$  (1110)

$U = X^7$  (0111)

$A = 1$  (0001)

$F = X^{12}$  (0011),

$C = X^7$  (0111),

$H = X^3$  (1000),

$P = X^4$  (1001),

$S = X^{13}$  (0110),

$T = X^9$  (0101),

$W = X^7$  (0111),

$E = X^9$  (0101),

$B = X^6$  (1111),

$G = 1$  (0001),

$D = 0$  (0000),

40  $R = X^4$  (1001),

$Q = 0$  (0000)

図4は、本発明の実施の形態に係る送信機における周波数の変調及び送信をするための構成を示した図であり、図1で説明した伝送データ・ブロックを伝送準備用メモリE75から取り出し、デジタルRS信号の「1」及び「0」に応じて、周波数30kHzの搬送周波数F1及び周波数32kHzの搬送周波数F2を変調し、電力増幅の後、海中に発射する動作を説明するための構成を図示したもので、伝送信号の超音波周波数への変調及び

50 電力増幅、海中発信するための構成の概要を示してい

る。

【0105】図4に示す伝送メモリE75において、伝送メッセージ及び伝送順序が確定したならば、伝送メッセージは制御部30の指令でバッファ・レジスタ76を経由して周波数変調器80へ伝達される。周波数変調器80には搬送周波数F1及び搬送周波数F2の周波数発振器A81a及び周波数発振器B81bが付加されており、伝送メッセージが媒体中の伝搬に必要な周波数に変調される。

【0106】周波数変調器80はGF(2<sup>4</sup>)の様式(表2のRS符号(その2)参照)で表示される伝送信号「0」をF1周波数(30kHz)に、また、「1」の伝送信号をF2周波数(32kHz)に変調する。変調がなされたデータ信号は、増幅器82で所要の電力まで増幅した後、送波器83で超音波の音響信号に変換し、海水を媒体として超音波を発信する。この際、送波器83から、同一伝送単位データ・ブロックの信号をそれぞれ4回繰り返し発信する。

【0107】図5は、本発明の実施の形態に係る受信機における周波数弁別器及び信号処理部に関する受信データ・ブロックの信号判定のためのシンドローム演算の機能を説明するための説明図である。

【0108】図5に示すように、海水を媒体として伝送される超音波の音響信号を受波器100で受信し電気信号に変換される。受信信号は、GF(2<sup>4</sup>)様式2進数4ビットを1語とする16語が伝送単位データ・ブロックとして、4回繰り返し伝送されてくる。増幅器110では受信信号を所要の電気量まで増幅して、周波数弁

別器120へ入力される。周波数弁別器120では、2種のフィルタの作用で受信周波数をF1(30kHz)とF2(32kHz)に分別することで、「0」と「1」信号に変換する。

【0109】発信時を示す同期信号は、送信機からデータ伝送に微小時間先行し送られ、また、照合用同期信号は、データ信号の繰り返しごとに送信されてくるが、周波数弁別器120で検出分岐され同期信号発生部130へ伝達される。同期信号発生部130は、この信号を受け、送信機に同期した受信機内部のクロック信号を発信し、制御器140に入力され、受信機のシステム・トリガとして動作し、受信機を構成する増幅器110等へ指令又は制御トリガを送り、装置のシステム動作を発動させ、かつ、関連構成部の同期をとっている。

【0110】「0」と「1」に信号変換され、周波数弁別器120から出力される2進数4ビットを1語とする16語で構成された1単位の伝送単位データ・ブロック(受信単位データ・ブロック)は、信号処理部150へ送られる。信号処理部150は、図6に示す構成となっており、メモリA151にロードされる。

【0111】図6は、図5の受信機の信号処理部についての動作を説明するための動作説明図である。4回の繰り返しで伝送される受信データは、メモリA151に伝達され受信順序に応じて表3に図示する特殊のパターンでマトリックス番地に記憶されて行く。

【0112】

【表3】

## 信号処理部メモリAの記憶

(0) v0 X <sup>0</sup> =0101	(8) t0 X <sup>0</sup> =0101	(16) v1 X <sup>0</sup> =0101	(24) t1 X <sup>0</sup> =0101	(32) v2 X <sup>0</sup> =0101	(40) t2 X <sup>0</sup> =0101	(48) v3 X <sup>0</sup> =0101	(56) t3 X <sup>0</sup> =0101
(1) w3 X <sup>7</sup> =0111	(9) u0 X <sup>7</sup> =0111	(17) w0 X <sup>7</sup> =0111	(25) u1 X <sup>7</sup> =0111	(33) w1 X <sup>7</sup> =0111	(41) u2 X <sup>7</sup> =0111	(49) w2 X <sup>7</sup> =0111	(57) u3 X <sup>7</sup> =0111
(2) a3 1=0001	(10) e3 X <sup>0</sup> =0101	(18) a0 X <sup>0</sup> =1111	(26) e0 X <sup>0</sup> =0101	(34) a1 1=0001	(42) e1 X <sup>0</sup> =0101	(50) a2 1=0001	(58) e2 X <sup>0</sup> =0101
(3) b2 X <sup>14</sup> =1100	(11) f3 1=0001	(19) b3 X <sup>0</sup> =1111	(27) f0 X <sup>0</sup> =1111	(35) b0 X <sup>0</sup> =1111	(43) f1 X <sup>0</sup> =0011	(51) b1 X <sup>0</sup> =1111	(59) f2 X <sup>12</sup> =0011
(4) c2 X <sup>7</sup> =0111	(12) g2 1=0001	(20) c3 0=0000	(28) g3 1=0001	(36) c0 X <sup>7</sup> =0111	(44) g0 1=0001	(52) c1 X <sup>7</sup> =0111	(60) g1 1=0001
(5) d1 X <sup>10</sup> =1010	(13) h2 X <sup>8</sup> =1000	(21) d2 0=0000	(29) h3 0=0000	(37) d3 0=0000	(45) h0 X <sup>3</sup> =1000	(53) d0 0=0000	(61) h1 X <sup>3</sup> =1000
(6) p1 X <sup>4</sup> =1001	(14) r1 X <sup>4</sup> =1001	(22) p2 X <sup>4</sup> =1001	(30) r2 X <sup>4</sup> =1001	(38) p3 X <sup>4</sup> =1001	(46) r3 X <sup>4</sup> =1001	(54) p0 X <sup>4</sup> =1001	(62) r0 X <sup>4</sup> =1001
(7) q0 0=0000	(15) s1 X <sup>13</sup> =0110	(23) q1 0=0000	(31) s2 X <sup>13</sup> =0110	(39) q2 0=0000	(47) s3 X <sup>13</sup> =0110	(55) q3 0=0000	(63) s0 X <sup>13</sup> =0110

即ち、内部メモリA151には、8行、8列のマトリックス番地が設けられており、表3のa、b、c……p、qの文字は、受信データの1語を示し、添付番号0～3は1から4回までの繰り返しで受信したデータ1語を示す。文字上の(番号)は、メモリ番地を示している。

【0113】各データの有する値はGF(2<sup>4</sup>)(2進数4ビット)の様式のデジタル数及びXのべき数で表現されている。

【0114】最初の受信データは1語ごとに受信順序に応じて、0番地へ記憶し、1番地から8番地を飛び越し9番地へ記憶し、次も10番地から17番地を飛び越して18というように順次繰り返し最終的に、27、36……と63番地と対角線上の番地に記憶されていく。言い換えれば、繰り返し第1回目の受信データは、v0、u0、a0、f0……s0で表すとおり、1行目0番地v0から開始し、対角線上の9、18、27～63番地s0の第1データ・ブロックを形成する。

【0115】次に1行目8番地t0へ跳び、対角線上の17、26、35～62番地r0と、最終番地q0が1列目の7番地に記憶され第2データ・ブロックを形成する。

【0116】繰り返し第2回目の受信データは、v1、

u1、a1、f1……で表すとおり、1行目16番地v1から開始し、対角線上の25、34～61番地h1と、1列目6番地p1へ跳び、15番地s1へ進み第1データ・ブロックを形成する。

【0117】次に1行目24番地t1へ跳び、対角線上33、42……60番地g1と、1列目5番地d1へ跳び対角線上の14、23番地のq1と進み、第2データ・ブロックを形成する。

【0118】繰り返し第3回目の受信データは、v2、u2、a2、f2……で表すとおり、1行目32番地v2から開始し、対角線上の41、50、59番地f2と、1列目4番地c2へ跳び、対角線上13、22、31番地s2と並び第1データ・ブロックを形成する。次に1列目の40番地t2の対角線上49、58番地e2と並び、1列目3番地b2へ跳び対角線上の3、12、21、30、39番地q2と進み、第2データ・ブロックを形成する。

【0119】繰り返し第4回目の受信データは、v3、u3、a3、f3……で表すとおり、1行目48番地v3から開始し、57番地と進み、1行目2番地へ跳び、対角線11、20……47番地s3と進み第1データ・ブロックを形成する。次に1行目56番地t3から

25

1列目1番地w3へ跳び、対角線上の10, 19, ……  
…55番地q3と進み第2データ・ブロックを形成す  
る。以上の結果、メモリA151のデータの記憶配列に  
は次の特徴がでてくる。

【0120】(1) メモリの各列は、1単位 of データ・  
ブロックを構成する。無作為に選んだ偶数列(2, 4,  
6, 8列)と奇数列(1, 3, 5, 7列)で1単位の伝  
送メッセージを構成する。

【0121】(2) 各奇数列及び各偶数列は同一のデー  
タが配列される。従って、誤りがなければ、これらのデ  
ータ値は相互に等しい。また、誤りがなければ、各列の  
排他論理和は0となる。受信機で検出されたブロック・  
データは、一旦メモリに記憶された後、誤り検出部にお  
いて、一次及び二次パリティのそれぞれについて、デー  
タ処理部の評価を受けエラー・シンドローム演算(HW-  
XOR&XOR)を実行し、データの誤り距離の判定  
による真値推定を行う。その結果をメモリCに記憶して  
いく。

【0122】図6のメモリB152には、シンドローム  
演算のため、次のハミング重みが事前に記憶されてい  
る。

【0123】 $X^7$  (0111),  $X^6$  (1111),  $X^5$  (1011),  $X^4$  (1001),  $X^3$  (1000),  $X^2$  (0100),  $X^1$  (0010), 1 (0001)

制御部140からの指令で、受信データはバッファ・レ  
ジスタA153を経由して誤り検出部160へ伝達され  
る。同様に、メモリB152にストアされているハミング  
重みは関連データに同期して読み出され、バッファ・  
レジスタB154を経由して誤り検出部160へ伝達され  
る。

【0124】図7は、図6に示す受信機の誤り検出部1  
60の詳細ブロック図で、この誤り検出部160は、図  
3に示す送信機のRS符号化器70とほぼ同様な構成及  
び機能を有しているが、受信機の誤り検出部160は、  
A及びBチャンネルの2回路を構成している。

【0125】Aチャンネルは、乗算器161、排他論理  
和回路A(XOR)162、ラッチA163から構成され、  
ハミング重みを付加したシンドローム排他論理和演  
算(HW-XOR)回路である。

$$\begin{bmatrix} E_{ti} & E_{vi} \\ E_{ui} & E_{wi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^7 & X^6 & X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X^1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i & b_i & c_i & d_i & e_i & f_i & g_i & h_i \\ i_i & j_i & k_i & l_i & m_i & n_i & o_i & p_i \end{bmatrix}$$

受信データ・ブロックのハミング付加のエラー・シンド  
ローム演算を実行する排他論理回路(HW-XOR)A  
チャンネルとエラー・シンドローム演算を実行する排他論

26

\*【0126】受信データの一次及び二次のパリティによ  
る誤り検出のため、データを読み出し、エラー・シンド  
ローム演算を実行する回数を添次iを付して表すと、以  
下に述べる式12及び式13に示すマトリックス演算に  
よる誤り判定パリティの値( $E_{qi}$ ,  $E_{si}$ )及び( $E_{ui}$ ,  $E_{wi}$ )  
のエラーシンドローム演算を実行している。即ち、A  
チャンネルは第1及び第2データ・ブロックに対してハ  
ミング重みを付加したシンドローム演算(HW-XOR)を  
一次及び二次パリティについて実行している。

【0127】Bチャンネルは排他論理和演算回路B16  
4及びラッチB165から構成され、式12及び式13に  
示すマトリックス演算( $E_{pi}$ ,  $E_{ri}$ )及び( $E_{ti}$ ,  $E_{vi}$ )  
のシンドローム排他論理和演算を実行している。即ち、  
第1及び第2データ・ブロックに対してハミング重さを  
付加しないエラー・シンドローム演算(XOR)を一次及  
び二次パリティについて実行している。

【0128】送信データの信号(A, B, ……., D) (E, F, ……., H)、  
一次パリティ(P, Q) (R, S)及び二次パリティ(T, U) (V, W)  
に対応した受信信号をそれぞれ(a, b, c, d) (e, f, g, h)、  
一次パリティ・エラー・シンドローム( $E_{pi}$ ,  $E_{qi}$ ) ( $E_{ri}$ ,  $E_{si}$ )  
及び二次エラー・パリティ・シンドローム( $E_{ti}$ ,  $E_{ui}$ ) ( $E_{vi}$ ,  $E_{wi}$ )  
とすれば、次の演算マトリックスによって、第1及び  
第2データ・ブロックに関する一次パリティ・シンド  
ローム演算マトリックスを実行する。(添字i=1~4を  
示す。)

$$\begin{bmatrix} E_{pi} & E_{ri} \\ E_{qi} & E_{si} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^7 & X^6 & X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X^1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i & b_i & c_i & d_i & e_i & f_i & g_i & h_i \\ i_i & j_i & k_i & l_i & m_i & n_i & o_i & p_i \end{bmatrix}$$

同様に二次パリティ・エラー・シンドローム演算マトリ  
ックスを実行する。

【0129】

【数13】

\*40

$$\begin{bmatrix} E_{ti} & E_{vi} \\ E_{ui} & E_{wi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^7 & X^6 & X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X^1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_i & f_i & g_i & h_i & i_i & j_i & k_i & l_i \\ m_i & n_i & o_i & p_i & q_i & r_i & s_i & t_i \end{bmatrix}$$

理回路(XOR)Bチャンネルから構成され、一次及び二  
次パリティについて誤り信号検出及び真値推定を実行す  
る。

【0130】図7において、割算器166は、誤りデータ及びハミング距離（受信データの誤り変位量）を判定し、真値の送信データを推定するため、A及びBチャネルの演算結果から、 $E_q/E_p$ 、 $E_s/E_r$ 、 $E_u/E_t$ 及び $E_v/E_w$ の値をデータのメモリC170及びデータ処理部155（図6）へ送るための割算演算を実行している。

【0131】受信データ、一次・二次パリティのエラー・シンδροームの演算結果は、一旦メモリC170に記憶されるが、表3及び表4に示すシンδροーム評価表が\*10

\*データ処理部155に記憶されており、誤り検出の論理評価が繰り返され、メモリC170のデータ値は、逐次真値に改正され記憶されていく。ここで、受信機の機能を実施の形態を数値モデルによって具体的に説明する。

【0132】送信機から発信した伝送データが受信機で次の表6の順序で受信され、信号処理部150のメモリA151に次表のように誤りを含むデータが記憶されたとする。

【0133】

【表6】

繰り返して受信データの誤り表（例題）

発信データ (真 値)	V $X^0$	U $X^1$	A 1	F $X^{12}$	C $X^7$	H $X^3$	P $X^4$	S $X^{13}$
第1回発信(0)	$X^0$	$X^7$	$X^0$	$X^6$	$X^7$	$X^3$	$X^4$	$X^{13}$
第2回発信(1)	$X^0$	$X^7$	1	$X^{12}$	$X^7$	$X^3$	$X^4$	$X^{13}$
第3回発信(2)	$X^0$	$X^7$	1	$X^{12}$	$X^7$	$X^3$	$X^4$	$X^{13}$
第4回発信(3)	$X^0$	$X^7$	1	1	0	0	$X^4$	$X^{13}$

発信データ (真 値)	T $X^0$	W $X^7$	E $X^0$	B $X^0$	G 1	D 0	R $X^4$	Q 0
第1回発信(0)	$X^0$	$X^7$	$X^0$	$X^0$	1	$X^{10}$	$X^4$	0
第2回発信(1)	$X^0$	$X^7$	$X^0$	$X^{14}$	1	0	$X^4$	0
第3回発信(2)	$X^0$	$X^7$	$X^0$	$X^0$	1	0	$X^4$	0
第4回発信(3)	$X^0$	$X^7$	$X^0$	$X^0$	1	0	$X^4$	0

即ち、メモリA151には表3に示すとおり、整然と受信データが記憶されているが、18番地a0、27番地f0、20番地c3、29番地h3、3番地b2、5番地d1及び11番地f3の計7データに誤りがある。しかし、この時点において、受信機では誤り信号については未知である。

【0134】図6のメモリA151において、表3に示すと通りの配列で記憶された受信データは、制御部140からの指令で、第1列2番地から下方へa3(1)、b2( $X^{14}$ )、c2( $X^7$ )、d1( $X^{10}$ )、p1( $X^4$ )及びq0(0)が読み出され、バッファ・レジスタA153を経由し誤り検出部160へ伝達される。

【0135】この動作に同期して、メモリB152にロードされているハミング重さ( $X^5$ 、 $X^4$ 、 $X^3$ 、 $X^2$ 、 $X^1$ 、1)も読み出され、バッファ・レジスタB154を経由して両者とも当該データ値と同期しながら誤り検出部160へ伝達される。

【0136】図7で既に説明した2つの演算チャネルA及びBによって、第1データ・ブロックについて、次に示すエラーシンδροーム演算式14を実行し、一次パ

ティ・シンδροーム $E_{p1}$ 及び $E_{q1}$ が計算され、その結果は、メモリC170に記憶される。引き続き、第2列10番地から下方の15番地までのデータe3( $X^0$ )f3(1)、g2(1)、h2( $X^3$ )、r1( $X^4$ )及びs1( $X^{13}$ )が読み出され、ハミング重さの出力と同期し、第2データ・ブロックについても同様に一次パリティ・エラー・シンδροーム $E_{r1}$ 及び $E_{s1}$ が計算され、その結果は、メモリC170に記憶される。

【0137】この様に、これらの演算は継続して、各データ・ブロック3行目18～23番地、4行目26～31番地、5行目34～39番地、6行目42～47実行、7行目50～55、8行目58～63番地まで実行され、 $E_{pi}$ 、 $E_{qi}$ 、 $E_{ri}$ 、 $E_{si}$ 、( $i=1\sim 4$ )の第1及び第2データ・ブロックに関する一次パリティ・シンδροームの演算を完了するまで続行する。

【0138】以上の演算をマトリックスで示せば次のとおりである。（数式14の数字の下線は誤りデータ示す。）

【数14】



29

30

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} E_{p1} & E_{r1} & E_{p2} & E_{r2} & E_{p3} & E_{r3} & E_{p4} & E_{r4} \\ E_{q1} & E_{s1} & E_{q2} & E_{s2} & E_{q3} & E_{s3} & E_{q4} & E_{s4} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 & e_0 & a_0 & e_0 & a_1 & e_1 & a_2 & e_2 \\ b_2 & f_3 & b_3 & f_0 & b_0 & f_1 & b_1 & f_2 \\ c_2 & g_2 & c_3 & g_3 & c_0 & g_0 & c_1 & g_1 \\ d_1 & h_2 & d_2 & h_3 & d_3 & h_0 & d_0 & h_1 \\ p_1 & r_1 & p_2 & r_2 & p_3 & r_3 & p_0 & r_0 \\ q_0 & s_1 & q_1 & s_2 & q_2 & s_3 & q_3 & s_0 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X^5 & X^4 & X^3 & X^2 & X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & X^9 & X^6 & X^9 & 1 & X^9 & 1 & X^9 \\ X^{14} & 1 & X^6 & X^6 & X^6 & X^{12} & X^6 & X^{12} \\ X^7 & 1 & 0 & 1 & X^7 & 1 & X^7 & 1 \\ X^{10} & X^3 & 0 & 0 & 0 & X^3 & 0 & X^3 \\ X^4 & X^4 & X^4 & X^4 & X^4 & X^4 & X^4 & X^4 \\ X & X^{13} & 0 & X^{13} & 0 & X^{13} & 0 & X^{13} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

一次パリティ・シンδροームの演算結果は、次のとおり \*【0139】  
となる。

$$\begin{aligned}
 & * \\
 & E_{p1}=X^4 \quad E_{p2}=X^4 \quad E_{p3}=0 \quad E_{p4}=0 \\
 & E_{q1}=1 \quad E_{q2}=X^{14} \quad E_{q3}=0 \quad E_{q4}=0 \\
 & E_{r1}=X \quad E_{r2}=X^2 \quad E_{r3}=0 \quad E_{r4}=0 \\
 & E_{s1}=X^5 \quad E_{s2}=X^{12} \quad E_{s3}=0 \quad E_{s4}=0
 \end{aligned}$$

よって、パリティの評価値は次のとおりである。 【0140】

$$\begin{aligned}
 & EQ1=E_{q1}/E_{p1}=X^{11}, \quad EQ2=E_{q2}/E_{p2}=X^{10}, \\
 & EQ3=0, \quad EQ4=0, \quad ES1=E_{s1}/E_{r1}=X^4, \\
 & ES2=E_{s2}/E_{r2}=X^{10}, \quad ES3=0, \\
 & ES4=0
 \end{aligned}$$

【表4】

【0141】

【表5】送信データは、パリティ・シンδροーム演算の  
評価値表4及び表5から表7の結果を得る。

【表7】

データ・ブロック	評価判定値	結 果 (表4, 表5を参照)
1	$EQ1 = X^{11}$	$X^{11} > X^5$ であるため、誤り語が2語以上あり、それらの語の真値は判定不能。
2	$ES1 = X^4$	$X^4 < X^5$ であるので、3語誤り、その真値は、 $F = 1 + X = X^{12}$
3	$EQ2 = X^{10}$	$X^{10} > X^5$ であるため、誤り語が2語以上あり、それらの語の真値は判定不能。
4	$ES2 = X^{10}$	$X^{10} > X^5$ であるため、誤り語が2語以上あり、それらの語の真値は判定不能。
5	$EQ3 = 0$	誤り語なし。
6	$ES3 = 0$	誤り語なし。
7	$EQ4 = 0$	誤り語なし。
8	$ES4 = 0$	誤り語なし。

以上の分析結果からデータ・ブロック (5及び6) 又は (7及び8) から次の真値データを得る。

【0142】  $a1=1$  (0001),  $b0=X^6$  (1111),  $c0=X^7$  (0111),  $d3=0$  (0000),  $e1=X^9$  (0101),  $f1=X^{12}$  (0011),  $g0=1$  (0001),  $h0=X^3$  (1000)

一次パリティの値は、次のとおりである。

【0143】

$p3=X^4$  (1000),  $r3=X^4$  (1001)

$q2=0$  (0000),  $s3=X^{13}$  (0110)

これらの結果がメモリC170に記憶され、又は、受信機出力として読み込まれる。

【0144】以上の結果で示すとおり、一次のパリティのエラー・シンドローム評価値  $EQ_n$  及び  $ES_n$  が、4回の演算結果のうち、1単位データ・ブロックでも0が得られれば、全ての構成データを正しく解読することができるので、その時点で、誤り検出の作業が終了したといってもよい。

【0145】しかし、一次パリティのエラー・シンドローム評価値  $EQ_n$  及び  $ES_n$  が  $X^6$  以上となった場合は、このデータ・ブロック中に2語以上の誤りがあり判定不能となる。この場合は、他の共通する3組のデータ・ブロックから評価値  $EQ_n$  及び  $ES_n$  が0なるデータ・ブロックを探索する必要がある。全てのデータ・ブロックの評価値  $EQ_n$  及び  $ES_n$  が  $X^6$  以上となった場合は、二次パリティのエラー・シンドローム演算について、調査する必要が生じてくる。

【0146】以後、同じ入力データを使用して、二次パリティのエラー・シンドローム演算処理について説明する。

【0147】信号処理部150のメモリA151に入力されたデータは、表3のメモリ配列のとおりに記憶されて

いるが、次の要領で読み出される。

20 【0148】第1データ・ブロックの読み出しは、第1列0番地から1、2番地の  $v0$ ,  $w3$ ,  $a3$  が読み出され、第8列59番地に跳び、下降斜線上52, 45, ……31番地の  $f2$ ,  $c1$ ,  $h0$ ,  $p3$ ,  $s2$  を読み出し第1データ・ブロックを形成する。

【0149】これらは、一次パリティのエラー・シンドローム評価演算処理と同様に、バッファ・レジスタAに伝達されるが、データの処理順序の変更を行う。即ち、1列0及び1番地にあつて最初に読み出しデータ  $v0$ ,  $w3$  をデータ・ブロックの末尾におき、 $a3$ ,  $f2$ ,  $c1$ ,  $h0$ ,  $p3$ ,  $s2$ ,  $v0$ ,  $w3$  の順に置き換え、この順序に従ってデータは誤り検出部160へ伝達される。

【0150】一方メモリB152においては、データ読み出しに同期して、メモリB152にロードされているハミング重み  $X^7$ ,  $X^6$ ,  $X^5$ ,  $X^4$ ,  $X^3$ ,  $X^2$ ,  $X^1$ , 1 が読み出され、バッファ・レジスタB154を経由して、出力順序に従って、誤り検出部160に伝達される。

【0151】誤り検出部160においては、図7の排他論理和演算 (XOR) によって、A及びBの2チャンネルの働きで、マトリクス演算式15に示す二次パリティのエラー・シンドローム演算処理が実行され、その結果がメモリC170に記憶される。

【0152】第2データ・ブロックの読み出しは、表3に示すメモリ配列において、第2列8〜10番地  $t0$ ,  $u0$ ,  $e3$  が読み出され、1列目3番地へ跳び  $b2$  を読み出し、次に8列目60番地に移動し、下降斜線上の53, 46, 39番地のデータ  $g1$ ,  $d0$ ,  $r3$ ,  $q2$  を読み出す。

【0153】バッファ・レジスタAで先頭2データ  $t0$ ,  $u0$  を末尾に移行し  $e3$ ,  $b2$ ,  $g1$ ,  $d0$ ,  $r3$ ,  $q2$ ,

\*データ・ブロック読み出し、データをバッファ・レジスタAに送り、ここで、先頭の2データを末尾に移行してデータ・ブロックを形成して、当該ハミング重みと同期させ、二次パリティ・シンドローム演算を誤り検出部160で実行する。

【0158】一次パリティのエラー・シンドローム演算の場合と同様に、二次パリティのエラー・シンドローム演算誤差を $E_{ti}$ ,  $E_{ui}$ ,  $E_{vi}$ 及び $E_{wi}$  (添字 $i$ は読み出しデータ・ブロックの処理順序を示す。)とすれば、二次パリティのエラー・シンドローム演算は、次のマトリックスで一括して示することができる。／

【 0 1 5 9 】

【数 1 5】

10

以上の演算によって、次のとおり二次パリティの評価結果を得る。

【 0 1 6 0 】

## 第2データ・ブロック

$$E_{v1} = X^{12}$$

$$E w 1 = X^3$$

$$EW_1 = X^3 / X^{12} = X^6$$

## 第4データ・ブロック

$$E_{v2} = X^{10}$$

$$E_{w2} = X^{14}$$

$$EW2 = X^{14} / X^{10} = X^4$$

## 第5データ・ブロック

$$Et3 = X^5$$

$$Eu3 = X^3$$

$$EU3 = X^3 / X^5 = X^{13}$$

## 第7データ・ブロック

$$Et4 = X^3$$

$$Eu4 = X^7$$

$$EU4 = X^7 / X^3 = X^4$$

## 第6データ・ブロック

$$Ev3 = 0$$

$$Ew3 = 0$$

$$EW3 = 0$$

## 第8データ・ブロック

$$Ev4 = 0$$

$$Ew4 = 0$$

$$EW4 = 0$$

次に表3を照合して、誤り分析を行うことができる。結果を先に示すと次の表のとおりである。

\*10 【表8】

データ・ブロック	評価判定値	結果
1	$EU1 = 0$	誤り語なし。
2	$EW1 = X^5$	b2語に誤り、真値Bは、 $B = X^{14} + X^{12} = X^5$
3	$EU2 = X^{14}$	$X^{14} > X^7$ であるため、誤り語が2語以上あり、それらの語の真値は判定不能。
4	$EW2 = X^4$	d1語に誤り、真値Dは、 $D = X^{10} + X^{10} = 0$
5	$EU3 = X^{13}$	$X^{13} > X^7$ であるため、誤り語が2語以上あり、それらの語の真値は判定不能。
6	$EW3 = 0$	誤り語なし。
7	$EU4 = X^4$	h3語に誤り、真値Hは、 $H = 0 + X^3 = X^3$
8	$EW4 = 0$	誤り語なし。

(a)  $EU1$ 、 $EW3$ 及び $EW4$ の値が0であるから、第1、第6及び第8データ・ブロックに誤りデータは存在しない。従って、一次パリティの場合と同様に、データ真値は、誤り評価値を0とする次のデータ・ブロックの構成データが真値である。結果は、一次パリティと同じ値を得る。

【0162】 $EU1 = EW3 = EW4 = 0$ 

(b)  $EW1 = X^5$ であるから、第2データ・ブロックb2データに誤りがあり、その真値は、 $B2 = X^{14} + X^{12} = X^5$ である。

【0163】同様に、 $EW2 = X^4$ であるから、第4データ・ブロックd1データに誤りがあり、その真値は、 $D2 = X^{10} + X^{10} = 0$ である。

【0164】また、 $EU4 = X^4$ であるから、第7データ・ブロックh3データに誤りがあり、その真値は、 $H3 = 0 + X^3 = X^3$ である。

【0165】(c)  $EU2 = X^{14}$ であるから第3データ・ブロックに、同様に、 $EU3 = X^{13}$ であるから第5データ・ブロックに、それぞれデータに誤りがあることが判る。

【0166】いずれも、 $Xn$ の最大指数値nが7を超過

30 するため、2語以上の誤りがあることは検出できるが、その誤り値は求められない。二次パリティのエラー・シンドローム演算値がX8以上の場合は、当該データ・ブロックに2語以上の誤りがあることを意味し、誤りデータの検出、真値推定に関する問題については、他の共通データ・ブロック $EU1$ 又は $EU4$ において全構成データが検出又は判定可能であることから解決することができる。

40 【0167】受信時の誤り判定に使用するエラー・シンドローム演算式のデータの組み合わせは、伝送データ・ブロックの繰返し順番に関わりがなく、データ構成順序が送信のパリティ決定時のシンドローム演算と同じ順序であればよい。従って、図6に示すメモリA151の記憶状態を示した表3のマトリックスにおいて、同一列の奇数行(偶数行)データは、どの番地の語を選択して、組み合わせたデータ・ブロックを作成し、エラー・シンドローム演算を実行してもよい。

【0168】その排他論理和演算(XOR)が0になれば、当該構成データに誤りが存在しない。本発明に係る水中データ伝送における誤り検出・訂正方法は、以上の

50 (a) (b) (c)の結果から2語以上の誤り語が1伝

37

送単位に含まれていてもその誤りのデータを確実に検出し求めたハミング距離に基づいてその誤りを訂正することができる。

【0169】

【発明の効果】以上説明した本発明に係る誤り検出及び訂正方法によれば、1伝送メッセージに、バースト誤り等の複数のデータの誤りがあっても、シンドローム排他論理和演算 (XOR) 及びシンドローム・ハミング重さ排他論理和演算 (HW-XOR) の連立方程式が成立し、エラー・シンドローム演算をすることができ、どの語に誤りが生じているのかを確実に判定することができる。

【0170】さらに誤りデータの真値を求め、算出したハミング距離に基づいて誤りを自動的に訂正できる効果がある。

【0171】特に、深海での海洋資源調査、地殻変動調査などが立ち入ることが困難な海域での無人自動計測やロボット計測による送信データなどについては、受信信号の人為的な再確認の必要がなくなり、自動計測等の確実性及び信頼性が極めて向上することができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る送信機における信号処理部の構成を示す概要図である。

【図2】図1の構成器RS符号化器Aのブロック図である。

【図3】図1の構成器RS符号化器Bのブロック図である。

【図4】本発明の実施の形態に係る送信機における周波数変調部及び送信部をの構成図である。

【図5】本発明の実施の形態に係る受信機における周波数弁別器及び信号処理部に関する受信データ・ブロックの信号判定のためのシンドローム演算の機能を説明するための説明図である。

【図6】図5の受信機の信号処理部の動作説明図である。

【図7】図6構成器の誤り検出部の動作説明図である。

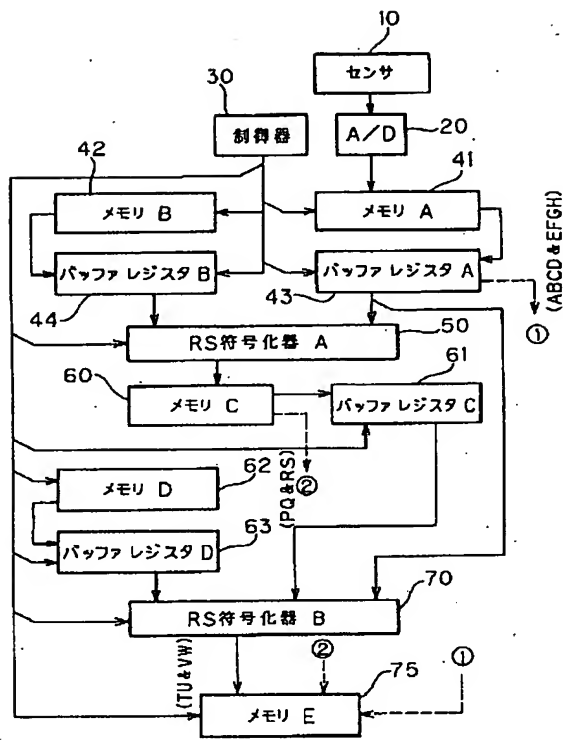
【符号の説明】

10 センサ  
20 A/D変換器  
30 制御器  
41 メモリA

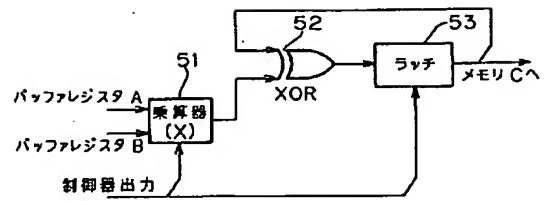
38

42 メモリB  
43 バッファ・レジスタA  
44 バッファ・レジスタB  
50 RS符号化器A  
51 乗算器  
52 排他論理和器 (XOR)  
53 ラッチ  
60 メモリC  
61 バッファ・レジスタC  
62 メモリD  
63 バッファ・レジスタD  
70 RS符号化器B  
71 ゲート回路  
72 乗算器  
73 排他論理和器 (XOR)  
74 ラッチ  
75 メモリE  
76 バッファ・レジスタE  
80 周波数変調器  
81a 周波数発信器F1  
81b 周波数発信器F2  
82 増幅器  
83 送波器  
100 受波器  
110 増幅器  
120 周波数弁別器  
130 同期信号発生器  
140 制御器  
150 信号処理部  
151 メモリA  
152 メモリB  
153 バッファ・レジスタA  
154 バッファ・レジスタB  
155 データ処理部  
160 誤り検出部  
161 乗算器  
162 排他論理和器 (XOR) A  
163 ラッチA  
164 排他論理和器 (XOR) B  
165 ラッチB  
166 割算器  
170 メモリC

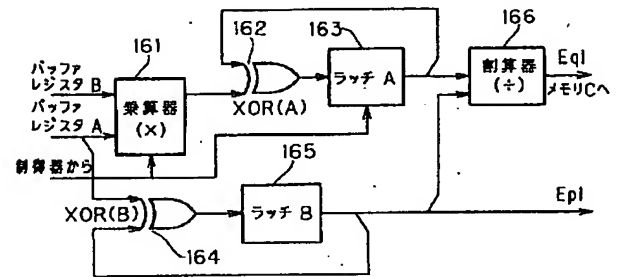
【図 1】



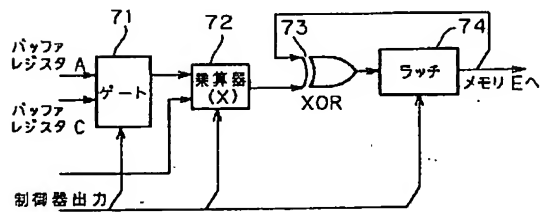
【図 2】



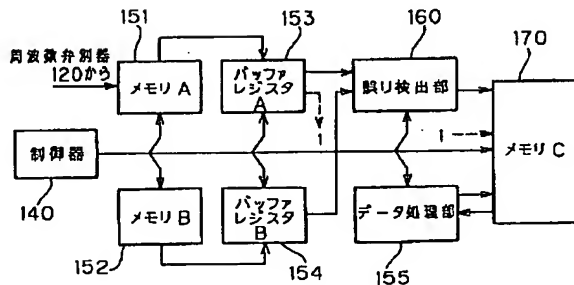
【図 7】



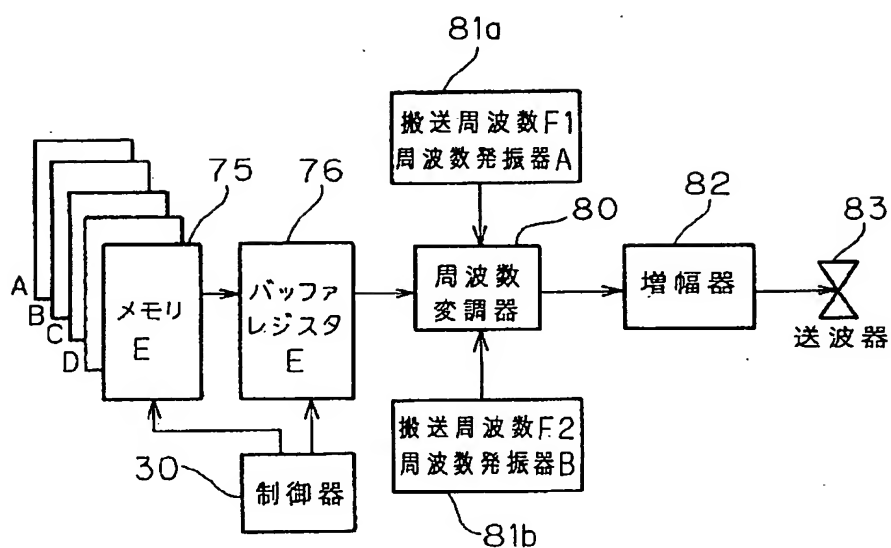
【図 3】



【図 6】



【図4】



【図5】

